

**А.І. Бойко, проф., д-р техн. наук**

*Національний аграрний університет, м. Київ*

**М.О. Свірень, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Модель функціонування пневматичної висівної системи для технологій точного землеробства

У статті приведено обґрунтування оптимальної системи для забезпечення заданих змінних норм посіву технологічних матеріалів і підтримка необхідних режимів роботи дозуючих систем.

**місцевизначена сівба, сенсор-технологія, система точного землеробства, глобальна система позиціонування**

На сучасному етапі розвитку засобів механізації польових сільськогосподарських робіт, в цілому, і посівних машин, зокрема, відбувається інтенсивний перехід до технологій інформаційного землеробства. Одним з етапів такого переходу є впровадження технологій точного землеробства [1]. На сьогодні відомо, що агрохімічні, біологічні, фізико-механічні та інші параметри ґрунту і умови росту та розвитку сільськогосподарських культур залежать від ряду природних та техногенних факторів. Це такі фактори, як стан приґрунтового повітря, наявність та рівень світла, тепла, вологи, поживних речовин, якість виконання механізованих операцій з обробітку ґрунту, внесення добрив, пестицидів, сівби тощо. З цього можна зробити висновок, що для ефективного проведення механізованих польових робіт необхідно мати так звану місцевизначену інформацію про стан поля на елементарних його ділянках і використовувати цю інформацію при експлуатації сільськогосподарських машин (СГМ), а самі СГМ розглядати як оптимальні системи для забезпечення внесення заданих змінних норм технологічних матеріалів і дотримання необхідних режимів роботи дозуючих систем.

Для накопичення і аналізу місцевизначеної інформації необхідно мати програмно-апаратні комплекси обладнання, які могли б точно фіксувати якісні та кількісні показники роботи машин. Такі комплекси необхідні для проведення робіт з картографування врожайності польових культур, аналізу місцевизначених даних, синтезу картограм заданих норм внесення, а також норм висіву насіння. Стосовно місцевизначеної сівби (сівби із заданими змінними нормами) слід зазначити, що застосування технологій висіву насіння з нормами, що відповідають агробіологічному потенціалу кожної елементарної ділянки поля, дає суттєву економію посівного матеріалу і покращує якість кінцевої продукції - врожаю.

Посівні машини, при роботі за системою точного землеробства (СТЗ), повинні одночасно з традиційними задачами виконання агротехнічних вимог до сівби сільськогосподарських культур виконувати ще додаткові задачі з реалізації "електронних" планів сівби, які синтезовані на підставі алгоритмів оптимального співвідношення між агробіологічним потенціалом елементарних ділянок поля і нормою сівби. При застосуванні СГМ в СТЗ обов'язковим елементом спеціалізованого обладнання є навігаційна апаратура для визначення положення посівного агрегату в полі. В якості навігаційної системи частіше всього застосовується супутникова глобальна система позиціонування (ГСП). Така система дає можливість користуватися інформацією не тільки про координати місцезнаходження МТА в полі, але і про

швидкість його руху з похибкою в межах 0.15-0.2 м/с.

Для проведення сівби із змінними нормами можливо використовувати карт- або сенсор-технологію [2]. Для реалізації сівби за сенсор-технологією бажано використовувати системи з адаптивним обладнанням. Для здійснення процесу сівби за карт-технологією необхідно сформувати картограму-завдання на операцію сівби. Така картограма базується на інформації про урожайність культури попереднього року сільськогосподарських робіт та даних з моніторингу фізико-механічних та агрохімічних параметрів ґрунту. На підставі цієї інформації та на основі агрономічних знань, історичних відомостей про поле і знаннях алгоритмів взаємозв'язку між місцевизначеними параметрами поля якраз і генерується електронна картограма заданих норм висіву насіння по площі поля. Тобто, однією з умов застосування місцевизначеної сівби є ідентифікація відмінностей у властивостях різних елементарних ділянок поля. Необхідно знівелювати цю різницю, наприклад, шляхом застосування місцевизначеної сівби - висівати таку кількість насіння на одиницю площі, щоб отримати максимальний врожай при мінімальних витратах посівного матеріалу.

Здійснення місцевизначеної сівби відбувається за допомогою спеціалізованого обладнання. В світі напрацьовані певні схеми подібного обладнання, наприклад, AMAZON (Німеччина), RAWSON, Mikro-Trak System (США) тощо. Загальним для такого обладнання є те, що опорне колесо сівалки втрачає функції механічного приводу висівних (туковисівних) апаратів і набирає функцій адометричного датчика - пристрою контролю кінематичних параметрів руху посівного агрегату (рис. 1).

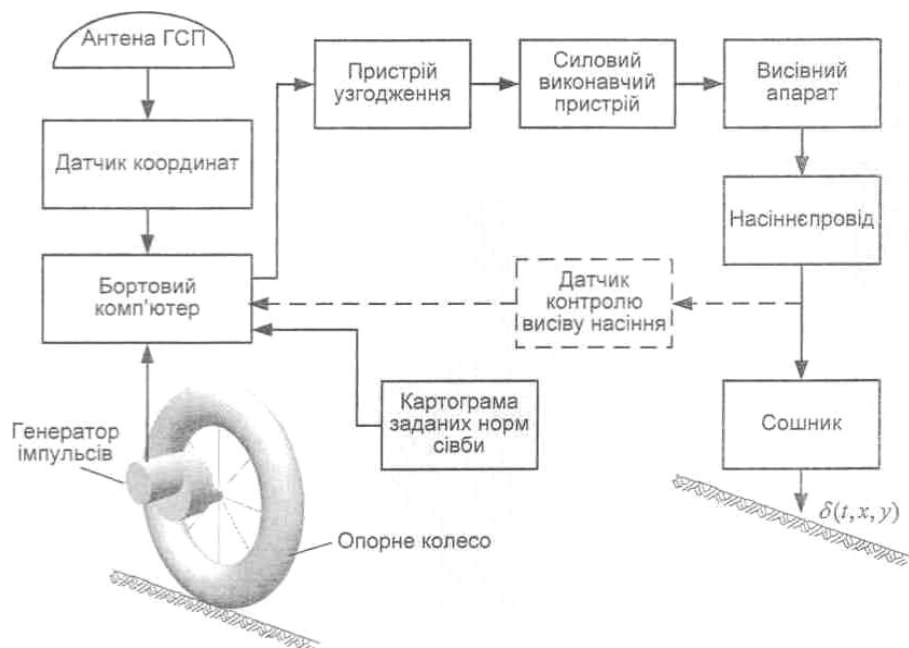


Рисунок 1 – Схема проведення місцевизначеної сівби

Функції регулювання норми висіву насіння передаються бортовому комп'ютеру. Останній аналізує (у відповідності до закладеного програмного забезпечення) в реальному часі  $t$  за допомогою датчика координат ГСП інформацію про місцезнаходження  $(x, y)$  посівного агрегату в полі і поточну інформацію про задану норму сівби  $\delta_3$ , для даної точки поля. Задана норма сівби надходить від картограми-завдання. Аналізується, також, за допомогою датчика контролю висіву насіння інформація про реальну інтенсивність зернового потоку на дану мить. Процесорна система бортового комп'ютера розраховує необхідний рівень керуючого сигналу, який

передається через пристрій узгодження на силовий виконавчий пристрій. Останній управляє технологічним режимом роботи висівного апарату, наприклад, шляхом зміни частоти обертання котушки або диску висівного апарату зернової сівалки. В результаті забезпечується виконання заданої норми висіву  $\delta(x, y, t)$  в межах регламентованого рівня помилки.

Взаємозв'язок основних функціональних елементів сівалки для технологій точного землеробства представлено на рис. 2.



Рисунок 2 – Функціональна схема моделі посівного агрегату для технологій точного землеробства

З рисунку 2 видно, що необхідним елементом посівного агрегату для технологій точного землеробства є бортова навігаційна система, яка дозволяє отримувати поточну інформацію про координати МТА в полі. В якості навігаційного обладнання ефективно використовувати системи диференційної глобальної системи позиціонування. При цьому можна використовувати інформацію не тільки про координати місцезнаходження сільськогосподарської машини в полі з високою просторовою точністю, але і визначати швидкість руху агрегату. Оцінки швидкості руху  $\hat{V}(t)$  та прямокутні координати  $\hat{x}(t)$ ,  $\hat{y}(t)$  центру мас посівного агрегату в функції часу  $t$  прийняті як вихідні параметри моделі навігаційного блоку сівалки.

Одним з основних елементів моделі функціонування посівного агрегату є модуль висівної системи з вихідним параметром потоку насіння  $\alpha(t)$ . Функціональна схема модулю висівної системи представлена на рис. 3.



Рисунок 3 – Функціональна схема модулю висівної системи сівалки для технологій точного землеробства

Інтенсивність керованого потоку насіння  $\alpha(t)$  знаходиться в функції регульованого параметру  $\beta(t)$ . В якості вхідної функції (цілі функціонування) технологічного процесу посівної машини з регулятором норми сівби приймається вихід блоку зчитування (PC card) картограми заданих норм сівби  $\delta_3(t)$ , які (норми) необхідно реалізувати по всій площі поля. Тому основною задачею на даному етапі є розрахунок оптимального значення керуючої дії  $U(t)$ . Ціль функціонування досягається, з одного боку, шляхом організації руху сівалки по заданих лініях гону, а також шляхом регулювання інтенсивності вихідного потоку насіння (контролюється датчиком інтенсивності потоку з вхідним сигналом  $\alpha(t)$  та вихідним -  $\gamma(t)$ ) в залежності від швидкості руху та координат місцезнаходження МТА, з другого боку. В результаті на виході системи маємо кінцеву норму висіву насіння –  $\delta(x, y, t)$ . Якість функціонування сівалки для технологій ТЗ будемо оцінювати похибкою відхилення дійсної норми сівби від необхідної  $\delta_3(t)$  норми на заліковому періоді  $T$  функціонування сівалки:

$$I = \int_0^T \Delta^2 dt, \quad (1)$$

де  $\Delta = \delta_3(t) - \delta(x, y, t)$  – похибка виконання завдання.

Для умов роботи широкозахватних сівалок має місце ситуація, коли необхідна (задана) норма сівби варіює не тільки по напрямку руху сівалки, але і по ширині її захвату. Пов'язане це з тим, що польові місцевизначені параметри варіюють по всій площі поля, незалежно від напрямків організації руху сівалки, і знаходяться в складному взаємозв'язку між різними діючими факторами. Тому, для кожного рядка, що засівається, фактична норма сівби (шт/п.м) буде визначатися виразом:

$$\delta(x, y, t) = \frac{\alpha_i(t)10^3}{V_i(t)H}, \quad (2)$$

де  $\alpha_i(t)$  – інтенсивність вихідного потоку насіння від висівного апарату в  $i$ -му рядку, що засівається;

$V_i(t)$  – швидкість переміщення  $i$ -го сошника;

$H$  – маса 1000 насіння;

$i=1, 2, \dots, N$ ;

$N$  – кількість рядків, що засіваються сівалкою.

Причому, інтенсивності вихідних потоків насіння  $\alpha_i(t)$  (2) від кожного  $i$ -го висівного апарату повинні відповідати умові:

$$\int_0^T \alpha(t) dt = \sum_{i=1}^N \int_0^T \alpha_i(t) dt, \quad (3)$$

Із співвідношення (2) видно, що для забезпечення необхідної норми сівби достатньо, з урахуванням інформації про координати місцезнаходження і швидкості руху МТА, розрахувати і забезпечити за допомогою механізму приводу висівного апарата необхідні значення інтенсивності вихідного потоку насіння для кожного висівного апарату:

$$\alpha_{i_{ne}}(t) = \delta_{i_{ne}}(\hat{x}, \hat{y}, t) \hat{V}_i(t) k_H, \quad (4)$$

де  $k_H = H/10^3$ .

Інтенсивність вихідного (модульованого) потоку насіння  $\alpha_{i_{ne}}(t)$  висівного апарату пов'язана з інтенсивністю вхідного потоку  $\beta(t)$  коефіцієнтом передачі  $\eta$ .

Фактичне значення цього коефіцієнта визначається залежністю:

$$\eta_{\phi}(t) = \eta + \Delta\eta + \Delta\eta_{\xi}(t) \quad (5)$$

де  $\eta$  – установочне значення (значення, довкола якого відбувається девіація параметра при виконанні змінних норм сівби) коефіцієнта передачі;

$\Delta\eta$  – систематичні похибки значення коефіцієнта передачі;

$\Delta\eta_{\xi}$  - випадкові відхилення значення коефіцієнта передачі.

Для кожного  $i$ -го каналу пневматичної висівної системи в якості параметру регулювання виступає частота моделюючих пневмоімпульсів. В такому випадку установочне значення коефіцієнта передачі  $\eta$  буде визначатися залежністю:

$$\eta = \beta_0(t) \Delta T_{pi}, \quad (6)$$

де  $\beta_0(t)$  - інтенсивність немодульованого потоку насіння;

$\Delta T_{pi}$  – тривалість пневмоімпульсу.

Для аналізу динамічних характеристик висівної системи скористаємось представленням диференціальних рівнянь, що описують функціонування системи, передаточними функціями кожної ланки. Передаточна функція моделі висівного апарату має вигляд:

$$W_{va} = \frac{\alpha(t)}{\beta(t)} = \eta_{\phi}(t), \quad (7)$$

Механізми приводів висівних апаратів відповідають, як правило, конструкціям позиційних приводів [3], модель динаміки яких можливо представити в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \beta'(t) = V_{\beta}(t); \\ V_{\beta}'(t) = -\frac{2\xi_{np}}{T_{np}} V_{\beta}(t) - \frac{1}{T_{np}^2} \beta(t) + \frac{K_{np} U(t)}{T_{np}^2}, \end{cases} \quad (8)$$

де  $K_{np}$ ,  $\xi_{np}$  та  $T_{np}$  – параметри механізму приводу висівного апарату;

$U(t)$  - керуюча дія.

Систему рівнянь (8) представимо у вигляді рівняння:

$$s^2 \beta'(t) = -\frac{2\xi_{np}}{T_{np}} s \beta(t) - \frac{1}{T_{np}^2} \beta(t) + \frac{K_{np} U(t)}{T_{np}^2}, \quad (9)$$

де  $s$  - символ диференціювання по часу.

З урахуванням (9) передаточна функція моделі сервомеханізму привода висівного апарату має вигляд:

$$W_{va} = \frac{K_{np}}{T_{np}^2 s^2 + 2T_{np} \xi_{np} s + 1}, \quad (10)$$

Як показано на рис. 1, необхідним елементом висівної системи для технологій точного землеробства є датчик контролю інтенсивності висіву насіння. Модель датчика представимо рівняннями:

$$\begin{cases} \gamma(t) = \tilde{\mu}(t) A_d; \\ \tilde{\mu}(t) = -\frac{1}{T_d [\tilde{\mu}(t) - \alpha(t)]}, \end{cases} \quad (11)$$

де  $\gamma(t)$  - сигнал, що надходить від датчика;

$A_d = 1 + \Delta_d(t) + \xi_d(t)$ ;

$\Delta_d(t)$  та  $\xi_d(t)$  - систематична та випадкова складові відносної помилки функціонування датчика;

$T_d$  - стала часу датчика;

$\tilde{\mu}(t)$  - проміжна змінна величина.

Систему (11) представимо у вигляді:

$$\gamma(t) \left[ \frac{s}{A_d} + \frac{s}{T_d A_d} \right] = \frac{\alpha(t)}{T_d}. \quad (12)$$

Тоді передаточна функція моделі датчика інтенсивності вихідного потоку насіння буде мати вигляд:

$$W = \frac{1 + A_d}{T_d s + 1}. \quad (13)$$

Рівняння (5, 6, 8, 11) складають модель функціонування пневматичної висівної системи для технологій точного землеробства. Аналіз такої моделі дає можливість обрати структуру та значення параметрів керуючої дії  $U(t)$  (закону регулювання) які забезпечують досягнення усталеності процесу функціонування, а також роботу при допустимих значеннях помилки слідкування за виконанням завдання. Інтенсивністю вихідного потоку висівної системи можна управляти по різних вхідних каналах. Наприклад, для зернової сівалки це можна робити шляхом зміни робочої довжини котушки висівного апарату, або шляхом зміни частоти обертання висівного елементу пневмомеханічної системи. Завдання полягає в тому, який з вхідних параметрів (каналів) слід вибирати. Зі всіх можливих регулюючих дій доцільно вибирати такий канал, в якому мінімальна зміна викликає максимальну реакцію регульованої величини, тобто коефіцієнт посилення по вибраному каналу повинен бути по можливості максимальним. Це дає можливість забезпечити більш точніше регулювання.

## Список літератури

1. Войтюк Д.Г., Анісевич Л.В., Гаврилюк Г.Р. Аспекти системи точного землеробства. Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць, вип. 3 (6). - Одеса, 1999. – С. 497-501.
2. Анісевич Л.В. Сенсор-технологія в точному землеробстві. -Київ, Науковий вісник НАУ. Вип. 9. – 1998. – С. 70-72.
3. Понтаев Н.Ф., Дианов В.Г. Основы теории автоматического регулирования и авторегуляторы. - М.: Недра, 1970. - 366 с.

В статье приведено обоснование оптимальной системы для обеспечения заданных сменных норм посева технологических материалов и поддержание необходимых режимов работы дозирующих систем.

The ground of optimal system for providing the set variable measures of technological materials sowing and maintenance of the necessary modes of measuring systems operation is resulted in the article.

*Одержано 10.11.06*